

DaimlerChrysler AG

Vorrichtung und Verfahren zur Kippverhinderung
für ein Fahrzeug

Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Kippverhinderung für ein Fahrzeug, mit einer Erfassungseinrichtung, die einen Istwert einer die Gierrate des Fahrzeugs beschreibenden Gierratengröße ermittelt, mit einer Auswerteeinheit, die einen Sollwert der Gierratengröße und einen den Sollwert zur Vermeidung eines Umkippens des Fahrzeugs geeignet begrenzenden Grenzwert der Gierratengröße ermittelt, und mit einer Steuereinrichtung zur Ansteuerung von Fahrzeugaggregaten, die zur Beeinflussung der Längs- und/oder Querdynamik des Fahrzeugs vorgesehen sind. Die Auswerteeinheit steuert hierbei auf Basis eines Vergleichs zwischen dem ermittelten Istwert der Gierratengröße und dem ermittelten Sollwert der Gierratengröße die Fahrzeugaggregate derart an, dass der ermittelte Istwert der Gierratengröße den ermittelten Sollwert der Gierratengröße einnimmt, wobei für den Fall, dass der Sollwert der Gierratengröße den Grenzwert der Gierratengröße überschreitet, die Auswerteeinheit zur Vermeidung eines Umkippens des Fahrzeugs den ermittelten Sollwert der Gierratengröße auf den ermittelten Grenzwert der Gierratengröße begrenzt.

Ein derartiges Stabilisierungssystem zur Erhöhung der Kippstabilität eines Fahrzeugs geht aus der Druckschrift DE 198 30 189 A1 hervor. Das Fahrzeug weist eine Einrichtung zur Giermomentregelung auf, die in bekannter Weise durch Eingriffe in Bremsmittel und/oder Antriebsmittel des Fahrzeugs die Gierrate des Fahrzeugs auf einen von Fahrervorgaben abhängigen Sollwert regelt, wobei der Sollwert zur Vermeidung eines Umkippens des Fahrzeugs auf einen physikalisch sinnvollen Wert begrenzt wird. Die physikalischen Betrachtungen berück-

sichtigen neben den Reibwertverhältnissen der Fahrbahnoberfläche zusätzlich eine kritische Querbeschleunigung, bei deren Erreichen das Fahrzeug ins Kippen gerät.

Aufgabe der erfindungsgemäßen Vorrichtung bzw. des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es, ein alternatives Stabilisierungssystem zur Erhöhung der Kippstabilität eines Fahrzeugs zu schaffen, mit dem eine ebenso zuverlässige wie unmittelbare Beurteilung des momentanen Kippzustands des Fahrzeugs ermöglicht wird.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Kippverhinderung für ein Fahrzeug umfasst eine Erfassungseinrichtung, die einen Istwert einer die Gierrate des Fahrzeugs beschreibenden Gierratengröße ermittelt, und eine Auswerteeinheit, die einen Sollwert der Gierratengröße und einen den Sollwert zur Vermeidung eines Umkipps des Fahrzeugs geeignet begrenzenden Grenzwert der Gierratengröße ermittelt. Weiterhin ist eine Steuereinrichtung zur Ansteuerung von zur Beeinflussung der Längs- und/oder Querdynamik des Fahrzeugs vorgesehenen Fahrzeugaggregaten vorhanden. Hierbei steuert die Auswerteeinheit die Fahrzeugaggregate auf Basis eines Vergleichs zwischen dem ermittelten Istwert der Gierratengröße und dem ermittelten Sollwert der Gierratengröße derart an, dass der ermittelte Istwert der Gierratengröße den ermittelten Sollwert der Gierratengröße einnimmt, wobei für den Fall, dass der Sollwert der Gierratengröße den Grenzwert der Gierratengröße überschreitet, die Auswerteeinheit zur Vermeidung eines Umkipps des Fahrzeugs den ermittelten Sollwert der Gierratengröße auf den ermittelten Grenzwert der Gierratengröße begrenzt. Erfindungsgemäß ermittelt die Auswerteeinheit den Grenzwert der Gierratengröße in Abhängigkeit eines Grenzwerts einer einen Kippwinkel des Fahrzeugs beschreibenden Kippwinkelgröße. Die Werte, die die Kippwinkelgröße im Verlauf der Fahrt des Fahrzeugs annehmen kann, spannen einen n-dimensionalen ($n \in \mathbb{N}$) Werteraum auf, der sich in zwei n-dimensionale Unterräume aufteilen lässt, von denen ein erster all jene Werte

der Kippwinkelgröße umfasst, die zu einem kippstabilen Zustand des Fahrzeugs führen, während ein zweiter all jene Werte der Kippwinkelgröße umfasst, bei denen das Fahrzeug einen kippenden Zustand annimmt. Die Kippwinkelgröße erlaubt daher aufgrund der eindeutigen Zuordnung zu einem der beiden Unterräume eine ebenso zuverlässige wie unmittelbare Beurteilung des momentanen Kippzustands des Fahrzeugs. Dementsprechend wird zur Verhinderung eines Umkippens der Grenzwert der Kippwinkelgröße derart gewählt, dass dieser ein Element des ersten Unterraums ist. Die von den beiden Unterräumen umfassten Werte der Kippwinkelgröße können entweder in Form diskreter Einzelwerte oder aber in Gestalt eines Kontinuums vorliegen. Bei der Kippwinkelgröße handelt es sich insbesondere um den Wankwinkel des Fahrzeugs, der eine Drehung des Fahrzeugs um eine in Fahrzeuglängsrichtung orientierte Wankachse beschreibt.

Vorteilhafte Ausführungen der erfundungsgemäßen Vorrichtung gehen aus den Unteransprüchen hervor.

Es ist von Vorteil, wenn der Grenzwert der Kippwinkelgröße Teil der durch die beiden Unterräume gebildeten Schnittmenge ist, sodass der von der Auswerteeinheit ermittelte Grenzwert der Kippwinkelgröße einen definierten Übergang zwischen einem kippstabilen und einem kippenden Zustand des Fahrzeugs charakterisiert. In diesem Fall lässt sich der Grenzwert der Gierratengröße derart ermitteln, dass eine durch Eingriffe in die Fahrzeugaggregate vorgenommene Begrenzung des Sollwerts der Gierratengröße nur dann erfolgt, wenn es der momentane Kippzustand des Fahrzeugs tatsächlich erforderlich macht. Auf diese Weise wird ein erheblicher Komfortgewinn sowohl für den Fahrer als auch für weitere Insassen des Fahrzeugs erreicht.

Die Auswerteeinheit ermittelt den Sollwert der Gierratengröße beispielsweise in Abhängigkeit einer ermittelten Lenkwinkelgröße, die den an lenkbaren Rädern des Fahrzeugs einstellbaren Lenkwinkel beschreibt, und/oder einer Längsgeschwindig-

keitsgröße, die die Längsgeschwindigkeit des Fahrzeugs beschreibt, wobei die Verwendung eines einfachen und in den meisten Fällen ausreichenden Einspur-Fahrzeugmodells möglich ist (vgl. „Bosch, Kraftfahrtechnisches Taschenbuch“, Vieweg-Verlag, 23. Auflage, S. 707 f.)

Im Sinne einer zuverlässigen Erfassung des momentanen Kippzustands des Fahrzeugs besteht die Möglichkeit, dass die Auswerteeinheit den Grenzwert der Gierratengröße in Abhängigkeit von Größen ermittelt, die den Beladungszustand und/oder Geometrieeigenschaften und/oder Karosserieeigenschaften des Fahrzeugs charakterisieren.

Der Beladungszustand des Fahrzeugs kann insbesondere durch Angabe der Schwerpunktllage und/oder der Masse des Fahrzeugs präzise charakterisiert werden. Dementsprechend umfassen die den Beladungszustand des Fahrzeugs charakterisierenden Größen eine Schwerpunktllagengröße, die die Lage des Schwerpunkts des Fahrzeugs beschreibt, und/oder eine Massegröße, die die Masse des Fahrzeugs beschreibt.

In Zusammenhang mit den Geometrie- und Karosserieeigenschaften des Fahrzeugs hat vor allem die Spurbreite, die Lage des Kippzentrums und die Kippsteifigkeit der Karosserie des Fahrzeugs erheblichen Einfluss auf das Kippverhalten des Fahrzeugs. Es ist daher von Vorteil, wenn die die Geometrieeigenschaften des Fahrzeugs charakterisierenden Größen eine Spurbreitengröße, die die Spurbreite des Fahrzeugs beschreibt, und/oder eine Kippzentrumsllagengröße, die die Lage des Kippzentrums des Fahrzeugs beschreibt, umfassen. Entsprechendes gilt für die die Karosserieeigenschaften des Fahrzeugs charakterisierenden Größen, die vorzugsweise eine Kippsteifigkeitsgröße umfassen, die die Kippsteifigkeit des Fahrzeugs beschreibt.

Vorteilhafterweise ermittelt die Auswerteeinheit die Schwerpunktllagengröße und/oder die Massegröße während und/oder vor

Beginn der Fahrt des Fahrzeugs, sodass zur Ermittlung des Grenzwerts der Gierratengröße jeweils dem aktuellen Beladungszustand des Fahrzeugs entsprechende Werte für die Schwerpunktlagengröße und/oder die Massegröße zur Verfügung stehen.

Die Ermittlung der Schwerpunktlagengröße und/oder der Massegröße kann mit guter Genauigkeit in Abhängigkeit von Größen, die den Bewegungszustand des Fahrzeugs charakterisieren, und/oder in Abhängigkeit des zeitlichen Verhaltens wenigstens einer dieser Größen erfolgen. Eine besonders hohe Genauigkeit wird erreicht, wenn die den Bewegungszustand des Fahrzeugs charakterisierenden Größen eine Wankwinkelgröße, die den Wankwinkel des Fahrzeugs beschreibt, und/oder eine Nickwinkelgröße, die den Nickwinkel des Fahrzeugs beschreibt, umfassen. Die Bestimmung der Wankwinkelgröße und/oder der Nickwinkelgröße erfolgt beispielsweise durch Auswertung der an Radfedereinrichtungen des Fahrzeugs auftretenden Einfederwege oder aber mittels geeigneter Winkelsensoren.

Zur Verringerung des von der Auswerteeinheit durchzuführenden Rechenaufwands besteht alternativ zur vorstehend beschriebenen Ermittlung der Schwerpunktlagengröße und/oder der Massegröße die Möglichkeit, dass in der Auswerteeinheit jeweils ein fest vorgegebener Wert für die Schwerpunktlagengröße und/oder die Massegröße abgelegt ist. Die in der Auswerteeinheit abgelegten Werte werden derart vorgegeben, dass selbst ungünstige Beladungszustände des Fahrzeugs berücksichtigt werden und zu keinem Umkippen des Fahrzeugs führen können („worst case“).

Weiterhin kann die Auswerteeinheit zur zuverlässigen Erfassung des momentanen Kippzustands des Fahrzeugs den Grenzwert der Gierratengröße in Abhängigkeit von Größen ermitteln, die die Querdynamik des Fahrzeugs charakterisieren. In diesem Zusammenhang ist insbesondere die auf das Fahrzeug wirkende Querbeschleunigung von Bedeutung, sodass es von Vorteil ist,

wenn die die Querdynamik des Fahrzeugs beschreibenden Größen eine Querdynamikgröße umfassen, die die auf das Fahrzeug wirkende Querbeschleunigung beschreibt.

Eine exakte und verzögerungssarme Beeinflussung des Istwerts der Gierratengröße im Sinne des Sollwerts der Gierratengröße wird insbesondere dann ermöglicht, wenn es sich bei den Fahrzeugaggregaten um zur Erzeugung eines auf das Fahrzeug wirkenden Vortriebs vorgesehene Antriebsmittel und/oder um zur Abbremsung von Rädern des Fahrzeugs vorgesehene Bremsmittel und/oder um zur Beeinflussung der Lenkung des Fahrzeugs vorgesehene Lenkmittel handelt. Die Antriebsmittel umfassen unter anderem Motor, Getriebe und Getriebekupplung des Fahrzeugs, wohingegen die Bremsmittel Rädern des Fahrzeugs zugeordnete Radbremseinrichtungen aufweisen. Die Bremsmittel sind vorzugsweise derart ausgebildet, dass sich die Räder des Fahrzeugs jeweils unabhängig voneinander abbremsen lassen, sodass eine besonders genaue Beeinflussung des Istwerts der Gierratengröße möglich ist. Die Lenkmittel sind in bekannter Weise zur Beeinflussung des an den lenkbaren Rädern des Fahrzeugs einstellbaren Lenkwinkels vorgesehen. Das Eingreifen in die Lenkmittel des Fahrzeugs erlaubt eine besonders verzögerungssame und somit komfortbetonte Einflussnahme auf den Istwert der Gierratengröße. Die Bremsmittel und/oder die Antriebsmittel und/oder die Lenkmittel lassen sich hierbei von der Auswerteeinheit über eine Steuereinrichtung zur Durchführung fahrerunabhängiger Eingriffe ansteuern.

Vorteilhafterweise sind die Erfassungseinrichtung, die Auswerteeinheit und die Steuereinrichtung Bestandteil eines elektronischen Stabilitäts-Programms (ESP-Systems), sodass insbesondere durch Modifikation eines herkömmlichen bzw. im Fahrzeug bereits vorhandenen ESP-Systems eine kostengünstige und vergleichsweise einfache Umsetzung bzw. Nachrüstung des erfindungsgemäßen Stabilitätssystems möglich ist.

Um den Fahrer auf das Vorliegen eines kippkritischen Zustands des Fahrzeugs hinzuweisen, sind von der Auswerteeinheit ansteuerbare Fahrerinformationsmittel zur Ausgabe einer optischen und/oder akustischen Fahrerinformation vorgesehen, wobei die Auswerteeinheit die Ausgabe der optischen und/oder akustischen Fahrerinformation in Zusammenhang mit der Ansteuerung der Fahrzeugaggregate veranlasst.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung bzw. das erfindungsgemäße Verfahren wird im folgenden anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigen:

Fig. 1 ein schematisch dargestelltes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung,

Fig. 2 ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens in Form eines Flussdiagramms.

Fig. 1 zeigt ein schematisch dargestelltes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Kippverhinderung für ein Fahrzeug. Die Vorrichtung umfasst eine Erfassungseinrichtung 10, die einen Istwert ψ_{ist} einer die Gierrate des Fahrzeugs beschreibenden Gierratengröße ermittelt, und eine Auswerteeinheit 11, die einen Sollwert ψ_{sol1} der Gierratengröße und einen den Sollwert ψ_{sol1} zur Vermeidung eines Umkippens des Fahrzeugs geeignet begrenzenden Grenzwert ψ_{grenz} der Gierratengröße ermittelt. Bei der Erfassungseinrichtung 10 handelt es sich beispielsweise um einen im Fahrzeug angeordneten und mit der Auswerteeinheit 11 in Wirkverbindung stehenden Gierratensor. Weiterhin ist eine mit der Auswerteeinheit 11 in Wirkverbindung stehende Steuereinrichtung 12 vorhanden, die zur fahrerunabhängigen Ansteuerung von zur Beeinflussung der Längs- und/oder Querdynamik des Fahrzeugs vorgesehenen Fahrzeugaggregaten 13 vorgesehen ist. Die Erfassungseinrichtung 10, die Auswerteeinheit 11 und die Steuereinrichtung 12

sind Bestandteil eines im Fahrzeug vorhandenen Elektronischen Stabilitäts-Programms (ESP-Systems).

Bei den Fahrzeugaggregaten 13 handelt es sich um zur Erzeugung eines auf das Fahrzeug wirkenden Vortriebs vorgesehene Antriebsmittel 13a und/oder um zur Abbremsung von Rädern des Fahrzeugs vorgesehene Bremsmittel 13b und/oder um zur Beeinflussung der Lenkung des Fahrzeugs vorgesehenen Lenkmittel 13c. Die Antriebsmittel 13a umfassen unter anderem Motor, Getriebe und Getriebekupplung des Fahrzeugs, wohingegen die Bremsmittel 13b Rädern des Fahrzeugs zugeordnete Radbremseinrichtungen aufweisen. Die Bremsmittel 13b sind derart ausgebildet, dass sich die Räder des Fahrzeugs jeweils unabhängig voneinander abbremsen lassen. Die Lenkmittel 13c sind in bekannter Weise zur Beeinflussung eines an lenkbaren Rädern des Fahrzeugs einstellbaren Lenkwinkels vorgesehen.

Die Auswerteeinheit 11 steuert die Fahrzeugaggregate 13 auf Basis eines Vergleichs zwischen dem ermittelten Istwert $\dot{\psi}_{ist}$ der Gierratengröße und dem ermittelten Sollwert $\dot{\psi}_{soll}$ der Gierratengröße derart an, dass der ermittelte Istwert $\dot{\psi}_{ist}$ der Gierratengröße den ermittelten Sollwert $\dot{\psi}_{soll}$ der Gierratengröße einnimmt, wofür für den Fall, dass der Sollwert $\dot{\psi}_{soll}$ der Gierratengröße den Grenzwert $\dot{\psi}_{grenz}$ der Gierratengröße überschreitet, die Auswerteeinheit 11 zur Vermeidung eines Umkippens des Fahrzeugs den ermittelten Sollwert $\dot{\psi}_{soll}$ der Gierratengröße auf den ermittelten Grenzwert $\dot{\psi}_{grenz}$ der Gierratengröße begrenzt.

Der Sollwert $\dot{\psi}_{soll}$ der Gierratengröße wird von der Auswerteeinheit 11 in Abhängigkeit einer ermittelten Lenkwinkelgröße δ , die den an den lenkbaren Rädern des Fahrzeugs einstellbaren Lenkwinkel beschreibt, und/oder einer Längsgeschwindigkeitsgröße v_f , die die Längsgeschwindigkeit des Fahrzeugs beschreibt, auf Basis eines Einspur-Fahrzeugmodells ermittelt.

Zur Ermittlung der Lenkwinkelgröße δ ist ein Lenkradwinkelsensor 14 vorgesehen, der die Auslenkung α eines zur fahrerseitigen Beeinflussung des Lenkwinkels im Fahrzeug angeordneten Lenkbedienelements 15 erfasst und in ein entsprechendes Signal umwandelt, das auf die Auswerteeinheit 11 geführt wird. Weiterhin sind Raddrehzahlsensoren 20 vorhanden, die die an Rädern des Fahrzeugs auftretenden Raddrehzahlen erfassen und entsprechende Signale erzeugen, die der Auswerteeinheit 11 zur Ermittlung der Längsgeschwindigkeitsgröße v_f zugeführt werden.

Erfindungsgemäß ermittelt die Auswerteeinheit 11 den Grenzwert $\dot{\psi}_{grenz}$ der Gierratengröße in Abhängigkeit eines Grenzwerts ϕ_{grenz} einer einen Kippwinkel des Fahrzeugs beschreibenden Kippwinkelgröße ϕ . Im vorliegenden Ausführungsbeispiel handelt es sich bei der Kippwinkelgröße ϕ um den Wankwinkel des Fahrzeugs, der eine Drehung des Fahrzeugs um eine in Fahrzeulgänsrichtung orientierte Wankachse beschreibt. Anstelle des Wankwinkels ist natürlich auch die Verwendung einer beliebigen anderen, einen Kippwinkel des Fahrzeugs beschreibenden Kippwinkelgröße ϕ vorstellbar.

Die Ermittlung des Grenzwerts ϕ_{grenz} der Kippwinkelgröße ϕ erfolgt auf Basis kinematischer Überlegungen. Die Auswerteeinheit 11 berücksichtigt hierbei Größen, die den Beladungszustand und/oder Geometrieeigenschaften und/oder Karosserieeigenschaften des Fahrzeugs charakterisieren. Der Beladungszustand des Fahrzeugs wird beispielsgemäß durch Angabe der Schwerpunktllage und/oder der Masse des Fahrzeugs charakterisiert. Dementsprechend umfassen die den Beladungszustand des Fahrzeugs charakterisierenden Größen eine Schwerpunktllagengröße h_{sp} , die die Lage des Schwerpunkts des Fahrzeugs beschreibt, und/oder eine Massegröße m_f , die die Masse des Fahrzeugs beschreibt. Die Schwerpunktllagengröße h_{sp} soll im vorliegenden Fall die Höhe des Schwerpunkts des Fahrzeugs relativ zur Fahrbahnoberfläche beschreiben. In Zusammenhang mit den Geometrie- und Karosserieeigenschaften des Fahrzeugs hat

vor allem die Spurbreite, die Lage des Kippzentrums und die Kippsteifigkeit der Karosserie des Fahrzeugs erheblichen Einfluss auf das Kippverhalten des Fahrzeugs. Die geometrieeigenschaften des Fahrzeugs charakterisierenden Größen umfassen daher eine Spurbreitengröße s_f , die die Spurbreite des Fahrzeugs beschreibt, und/oder eine KippzentrumsLAGENGROßE h_w , die die Lage des Kippzentrums des Fahrzeugs beschreibt. Die KippzentrumsLAGENGROßE h_w soll im vorliegenden Fall die Höhe des Kippzentrums des Fahrzeugs beschreiben. Die Karosserieeigenschaften des Fahrzeugs charakterisierenden Größen schließlich umfassen eine Kippsteifigkeitsgröße c_ϕ , die die Kippsteifigkeit des Fahrzeugs beschreibt.

Die Auswerteeinheit 11 ermittelt die SchwerpunktLAGENGROßE h_{sp} und/oder die Massegröße m_f während und/oder vor Beginn der Fahrt des Fahrzeugs. Die Ermittlung erfolgt in Abhängigkeit von Größen, die den Bewegungszustand des Fahrzeugs charakterisieren, und/oder in Abhängigkeit des zeitlichen Verhaltens wenigstens einer dieser Größen. Die den Bewegungszustand des Fahrzeugs charakterisierenden Größen umfassen eine Wankwinkelgröße, die den Wankwinkel des Fahrzeugs beschreibt, und/oder eine Nickwinkelgröße, die den Nickwinkel des Fahrzeugs beschreibt. Die Bestimmung der Wankwinkelgröße und/oder der Nickwinkelgröße erfolgt durch Auswertung der an Radfeder-Einrichtungen des Fahrzeugs auftretenden Einfederwege, die mittels geeigneter, mit der Auswerteeinheit 11 in Wirkverbindung stehender Federwegsensoren 21 erfasst werden. Die Federwegsensoren 21 sind bei Fahrzeugen, die mit einer Luftfederung ausgestattet sind, in der Regel vorhanden.

Bei der Spurbreitengröße s_f , der KippzentrumsLAGENGROßE h_w und der Kippsteifigkeitsgröße c_ϕ handelt es sich im allgemeinen um Invarianten, die in Form fester Werte in der Auswerteeinheit 11 abgelegt sind.

Alternativ zur beschriebenen Ermittlung der SchwerpunktLAGENGROßE h_{sp} und/oder der Massegröße m_f ist die erfundungsgemäße

Vorrichtung derart ausgebildet, dass in der Auswerteeinheit 11 jeweils ein fest vorgegebener Wert für die Schwerpunktlagengröße h_{sp} und/oder die Massegröße m_f abgelegt ist. Die in der Auswerteeinheit 11 abgelegten Werte werden derart vorgegeben, dass selbst ungünstige Beladungszustände berücksichtigt werden und zu keinem Umkippen des Fahrzeugs führen können („worst case“).

Bei der Ermittlung der Gierratengröße berücksichtigt die Auswerteeinheit 11 zusätzlich oder alternativ Größen, die die Querdynamik des Fahrzeugs charakterisieren und die eine Querbeschleunigungsgröße a_q umfassen, die die auf das Fahrzeug wirkende Querbeschleunigung beschreibt. Die Ermittlung der Querbeschleunigungsgröße a_q erfolgt mittels eines im Fahrzeug angeordneten Querbeschleunigungssensors 22, dessen Signale der Auswerteeinheit 11 zur Verfügung gestellt werden.

Im Falle eines kippstabilen Zustands, bei dem alle Räder des Fahrzeugs Kontakt zur Fahrbahnoberfläche aufweisen, ergibt sich unter Beachtung der Drehimpulserhaltung eine Differentialgleichung der Form

$$\theta_{xx} \cdot \ddot{\phi} = m_f \cdot (h_{sp} - h_w) (a_q + g \cdot \dot{\phi}) - c_\phi \cdot \phi - d_\phi \cdot \dot{\phi} , \quad (1.1)$$

mit:

- ϕ - Kippwinkelgröße (Wankwinkel)
- θ_{xx} - Hauptträgheitsmoment des Fahrzeugs um die Kippachse (Wankachse)
- m_f - Massegröße
- h_{sp} - Schwerpunktlagengröße
- h_w - Kippzentrumslagengröße
- a_q - Querbeschleunigungsgröße
- g - Erdbeschleunigungsgröße
- c_ϕ - Kippsteifigkeitsgröße
- d_ϕ - Kippdämpfungsgröße

Die Kippdämpfungsgröße d_φ beschreibt hierbei die Kippdämpfung des Fahrzeugs, die sich aus den Dämpfungseigenschaften der Radfedereinrichtungen ergibt.

Unter der Voraussetzung, dass die Kippwinkelgröße φ im Falle eines kippstabilen Zustands des Fahrzeugs stationäre Werte annimmt, $\ddot{\varphi} = \dot{\varphi} = 0$, folgt aus Gleichung (1.1)

$$\varphi = \frac{a_g}{g} \cdot \varphi_0 , \quad (1.2)$$

mit

$$\varphi_0 := \frac{1}{k_\varphi - 1} \quad (1.3)$$

und

$$k_\varphi := \frac{c_\varphi}{m_f \cdot g \cdot (h_{sp} - h_w)} . \quad (1.4)$$

Andererseits ergibt sich im Falle eines kippenden Zustands, bei dem wenigstens eines der kurveninneren Räder des Fahrzeugs keinen Kontakt mehr zur Fahrbahnoberfläche aufweist, eine Differentialgleichung der Form

$$\begin{aligned} \theta_{xx} \cdot \ddot{\varphi} &= -m_f \cdot g \cdot \left(\frac{s_f}{2} \cdot \cos\varphi - h_{sp} \cdot \sin\varphi \right) \\ &\quad + m_f \cdot a_g \cdot \left(h_{sp} \cdot \cos\varphi - \frac{s_f}{2} \cdot \sin\varphi \right) , \end{aligned} \quad (2.1)$$

mit:

s_f - Spurbreitengröße

Unter der Voraussetzung, dass die Kippwinkelgröße φ und deren zeitliche Änderung bzw. zeitliche Ableitung $\dot{\varphi}$ im Falle eines kippenden Zustands des Fahrzeugs stationäre Werte annimmt, $\ddot{\varphi} = 0$, ergibt sich aus Gleichung (2.1)

$$\varphi = \arctan \left(\frac{\frac{s_f}{2h_{sp}} - \frac{a_q}{g}}{1 + \frac{s_f}{2h_{sp}} \frac{a_q}{g}} \right) . \quad (2.2)$$

Für kleine Werte der Kippwinkelgröße φ ergibt sich durch Reihenentwicklung der Gleichung (2.2)

$$\varphi \approx \frac{\frac{s_f}{2h_{sp}} - \frac{a_q}{g}}{1 + \frac{s_f}{2h_{sp}} \frac{a_q}{g}} . \quad (2.3)$$

Werden die Gleichungen (1.2) und (2.3) jeweils nach der Querbeschleunigungsgröße a_q aufgelöst, danach gleichgesetzt und schließlich nach der Kippwinkelgröße φ aufgelöst, ergibt sich eine Gleichung der Gestalt

$$\varphi_{grenz} \approx -\frac{h_{sp}}{s_f}(1+\varphi_0) + \sqrt{\left(\frac{h_{sp}}{s_f}\right)^2(1+\varphi_0)^2 + \varphi_0} , \quad (3.1)$$

die einen Grenzwert φ_{grenz} der Kippwinkelgröße φ angibt, der einen definierten Übergang zwischen einem kippstabilen und einem kippenden Zustand des Fahrzeugs charakterisiert.

Zur Ermittlung des Grenzwerts ψ_{grenz} der Gierratengröße gemäß Gleichung (3.1) müssen also die Schwerpunktlagengröße h_{sp} , die Massegröße m_f , die Spurbreitengröße s_f , die Kippzentrumslagengröße h_w und die Kippsteifigkeitsgröße c_φ , nicht aber die Querbeschleunigungsgröße a_q bekannt sein,

$$\varphi_{grenz} \equiv \varphi_{grenz}(h_{sp}, m_f, s_f, h_w, c_\varphi) . \quad (3.2)$$

Entsprechendes gilt dann auch für die Ermittlung des Grenzwerts ψ_{grenz} der Gierratengröße,

$$\psi_{grenz} \equiv \psi_{grenz}(h_{sp}, m_f, s_f, h_w, c_\varphi) . \quad (3.3)$$

Ist die Schwerpunktlagengröße h_{sp} unbekannt, so bietet sich ein alternativer Ansatz zur Ermittlung des Grenzwerts φ_{grenz} der Kippwinkelgröße φ an. Hierzu werden die Gleichungen (1.2) und (2.3) gleichgesetzt und danach nach der Querbeschleunigungsgröße a_q aufgelöst,

$$a_q \approx -\frac{g \cdot h_{sp}}{\varphi_0 \cdot s_f} (1 + \varphi_0) + g \cdot \sqrt{\left(\frac{h_{sp}}{\varphi_0 \cdot s_f}\right)^2 (1 + \varphi_0)^2 + \frac{1}{\varphi_0}} . \quad (3.4)$$

Anschließend werden die Gleichungen (3.1) und (3.4) jeweils nach der Schwerpunktlagengröße h_{sp} aufgelöst, miteinander gleichgesetzt und nach dem Grenzwert φ_{grenz} der Kippwinkelgröße φ aufgelöst,

$$\varphi_{grenz} \approx \frac{1 - \frac{2h_w a_q}{s_f g}}{\frac{2c_\varphi}{m_f \cdot g \cdot s_f} + \frac{2h_w}{s_f} + \frac{a_q}{g}} . \quad (3.1')$$

Zur Ermittlung des Grenzwerts φ_{grenz} der Kippwinkelgröße φ gemäß Gleichung (3.1') müssen also die Querbeschleunigungsgröße a_q , die Massegröße m_f , die Spurbreitengröße s_f , die Kippzentrumslagengröße h_w und die Kippsteifigkeitsgröße c_φ , nicht aber die Schwerpunktlagengröße h_{sp} bekannt sein,

$$\varphi_{grenz} \equiv \varphi_{grenz}(a_q, m_f, s_f, h_w, c_\varphi) . \quad (3.2')$$

Entsprechendes gilt dann auch für die Ermittlung des Grenzwerts ψ_{grenz} der Gierratengröße,

$$\psi_{grenz} \equiv \psi_{grenz}(a_q, m_f, s_f, h_w, c_\varphi) . \quad (3.3')$$

Bildlich dargestellt, spannen die Werte der Kippwinkelgröße φ einen n-dimensionalen Raum \Re^n ($n=5$) auf, der sich in zwei n-dimensionale Unterräume aufteilen lässt, von denen ein erster all jene Werte der Kippwinkelgröße φ umfasst, die zu

einem kippstabilen Zustand des Fahrzeugs führen, während ein zweiter all jene Werte der Kippwinkelgröße φ umfasst, bei denen das Fahrzeug einen kippenden Zustand annimmt. Die Schnittmenge der beiden Unterräume stellt dann die Menge aller möglichen Lösungen der Gleichung (3.1) bzw. (3.1') dar.

Die Ermittlung des Grenzwerts $\dot{\psi}_{\text{grenz}}$ der Gierratengröße erfolgt entweder direkt aus dem ermittelten Grenzwert φ_{grenz} der Kippwinkelgröße φ ,

$$\dot{\psi}_{\text{grenz}} \equiv \dot{\psi}_{\text{grenz}}(\varphi_{\text{grenz}}) , \quad (3.5)$$

oder aber unter Zulassung einer Toleranz $\pm \Delta\varphi_{\text{safe}}$ für den Grenzwert φ_{grenz} der Kippwinkelgröße φ ,

$$\dot{\psi}_{\text{grenz}} \equiv \dot{\psi}_{\text{grenz}}(\varphi_{\text{grenz}}) \pm \Delta\dot{\psi}_{\text{grenz}}(\Delta\varphi_{\text{grenz}}) . \quad (3.6)$$

Um den Fahrer auf das Vorliegen einer kippkritischen Situation hinzuweisen, sind von der Auswerteeinheit 11 ansteuerbare Fahrerinformationsmittel 23 zur Ausgabe einer optischen und/oder akustischen Fahrerinformation vorgesehen.

Die fahrerseitige Aktivierung bzw. Deaktivierung der erfundungsgemäß Vorrichtung erfolgt mittels eines im Fahrzeug angeordneten Schalters 24.

Fig. 2 zeigt ein Ausführungsbeispiel des erfundungsgemäß Verfahrens in Form eines Flussdiagramms. Das Verfahren wird in einem Initialisierungsschritt 40 gestartet, woraufhin in einem ersten Hauptschritt 41 der Istwert $\dot{\psi}_{\text{ist}}$ der Gierratengröße ermittelt wird. Parallel hierzu wird in einem zweiten Hauptschritt 42 die Lenkwinkelgröße δ und/oder die Längsgeschwindigkeitsgröße v_f ermittelt, um danach in einem dritten Hauptschritt 43 in Abhängigkeit der Lenkwinkelgröße δ und/oder der Längsgeschwindigkeitsgröße v_f den Sollwert $\dot{\psi}_{\text{soll}}$ der Gierratengröße auf Basis des Einspur-Fahrzeugmodells zu er-

mitteln. Weiterhin wird parallel in einem vierten Hauptschritt 44 die Schwerpunktlagengröße h_{sp} und/oder die Massegröße m_f und/oder die Querbeschleunigungsgröße a_q und/oder die Spurbreitengröße s_f und/oder die Kippzentrumslagengröße h_w und/oder die Kippsteifigkeitsgröße c_ϕ ermittelt bzw. zur Verfügung gestellt, um in einem darauffolgenden fünften Hauptschritt 45 den Grenzwert ψ_{grenz} der Kippwinkelgröße ϕ und in dessen Abhängigkeit wiederum den Grenzwert $\dot{\psi}_{grenz}$ der Gierratengröße zu ermitteln.

Der im ersten Hauptschritt 41 ermittelte Istwert $\dot{\psi}_{ist}$ der Gierratengröße wird in einem sechsten Hauptschritt 46 mit dem im dritten Hauptschritt 43 ermittelten Sollwert $\dot{\psi}_{sol1}$ der Gierratengröße verglichen, wobei überprüft wird, ob der Betrag der Differenz aus dem Sollwert $\dot{\psi}_{sol1}$ der Gierratengröße und dem Istwert $\dot{\psi}_{ist}$ der Gierratengröße einen vorgegebenen Schwellenwert $\Delta\dot{\psi}_{ref}$ überschreitet,

$$|\dot{\psi}_{sol1} - \dot{\psi}_{ist}| > \Delta\dot{\psi}_{ref} . \quad (4.1)$$

Ist die durch die Gleichung (4.1) gegebene Bedingung nicht erfüllt, kehrt das Verfahren zu den Hauptschritten 41, 42 und 44 zurück, um erneut mit der Ermittlung des Istwerts $\dot{\psi}_{ist}$ der Gierratengröße, des Sollwerts $\dot{\psi}_{sol1}$ der Gierratengröße und des Grenzwerts $\dot{\psi}_{grenz}$ der Gierratengröße zu beginnen. Andernfalls wird mit einem siebten Hauptschritt 47 fortgefahrt, in dem weiterhin überprüft wird, ob der Betrag des im dritten Hauptschritt 43 ermittelten Sollwerts $\dot{\psi}_{sol1}$ der Gierratengröße den im fünften Hauptschritt 45 ermittelten Grenzwert $\dot{\psi}_{grenz}$ der Gierratengröße erreicht,

$$|\dot{\psi}_{sol1}| \leq \dot{\psi}_{grenz} . \quad (4.2)$$

Trifft die durch die Gleichung (4.2) gegebene Bedingung zu, werden die Fahrzeugaggregate 13 in einem nachfolgenden neunten Hauptschritt 49 derart angesteuert, dass der im ersten Hauptschritt 41 ermittelte Istwert $\dot{\psi}_{ist}$ der Gierratengröße

den im dritten Hauptschritt 43 ermittelten Sollwert $\dot{\psi}_{\text{soll}}$ der Gierratengröße einnimmt. Danach wird das Verfahren in einem Schlussschritt 50 beendet.

Wird im siebten Hauptschritt 47 hingegen festgestellt, dass der Betrag des im dritten Hauptschritt 43 ermittelten Sollwerts $\dot{\psi}_{\text{soll}}$ der Gierratengröße den im fünften Hauptschritt 45 ermittelten Grenzwert $\dot{\psi}_{\text{grenz}}$ der Gierratengröße überschreitet, so wird in einem achten Hauptschritt 48 der Betrag des im dritten Hauptschritt 43 ermittelten Sollwerts $\dot{\psi}_{\text{soll}}$ der Gierratengröße auf den im fünften Hauptschritt 45 ermittelten Grenzwert $\dot{\psi}_{\text{grenz}}$ der Gierratengröße begrenzt, woraufhin im neunten Hauptschritt 49 die Fahrzeugaggregate 13 derart angesteuert werden, dass der Istwert $\dot{\psi}_{\text{ist}}$ der Gierratengröße den begrenzten Sollwert $\dot{\psi}_{\text{soll}}$ der Gierratengröße einnimmt. Anschließend wird das Verfahren ebenfalls im Schlussschritt 50 beendet.

DaimlerChrysler AG

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Kippverhinderung für ein Fahrzeug, mit einer Erfassungseinrichtung (10), die einen Istwert ($\dot{\psi}_{ist}$) einer die Gierrate des Fahrzeugs beschreibenden Gierratengröße ermittelt, mit einer Auswerteeinheit (11), die einen Sollwert ($\dot{\psi}_{sol1}$) der Gierratengröße und einen den Sollwert ($\dot{\psi}_{sol1}$) zur Vermeidung eines Umkippens des Fahrzeugs geeignet begrenzenden Grenzwert ($\dot{\psi}_{grenz}$) der Gierratengröße ermittelt, und mit einer Steuereinrichtung (12) zur Ansteuerung von Fahrzeugaggregaten (13), die zur Beeinflussung der Längs- und/oder Querdynamik des Fahrzeugs vorgesehen sind, wobei die Auswerteeinheit (11) auf Basis eines Vergleichs zwischen dem ermittelten Istwert ($\dot{\psi}_{ist}$) der Gierratengröße und dem ermittelten Sollwert ($\dot{\psi}_{sol1}$) der Gierratengröße die Fahrzeugaggregate (13) derart ansteuert, dass der ermittelte Istwert ($\dot{\psi}_{ist}$) der Gierratengröße den ermittelten Sollwert ($\dot{\psi}_{sol1}$) der Gierratengröße einnimmt, wobei für den Fall, dass der Sollwert ($\dot{\psi}_{sol1}$) der Gierratengröße den Grenzwert ($\dot{\psi}_{grenz}$) der Gierratengröße überschreitet, die Auswerteeinheit (11) zur Vermeidung eines Umkippens des Fahrzeugs den ermittelten Sollwert ($\dot{\psi}_{sol1}$) der Gierratengröße auf den ermittelten Grenzwert ($\dot{\psi}_{grenz}$) der Gierratengröße begrenzt, dadurch gekennzeichnet,
dass die Auswerteeinheit (11) den Grenzwert ($\dot{\psi}_{grenz}$) der Gierratengröße in Abhängigkeit eines Grenzwerts (ϕ_{grenz}) einer einen Kippwinkel des Fahrzeugs beschreibenden Kippwinkelgröße (ϕ) ermittelt.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass der von der Auswerteeinheit (11) ermittelte Grenzwert (ϕ_{grenz}) der Kippwinkelgröße einen Übergang zwischen einem kippstabilen und einem kippenden Zustand des Fahrzeugs charakterisiert.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Auswerteeinheit (11) den Sollwert (ψ_{sol1}) der Gierratengröße in Abhängigkeit einer ermittelten Lenkwinkelgröße (δ), die den an lenkbaren Rädern des Fahrzeugs einstellbaren Lenkwinkel beschreibt, und/oder einer Längsgeschwindigkeitsgröße (v_f), die die Längsgeschwindigkeit des Fahrzeugs beschreibt, ermittelt.
4. Vorrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Auswerteeinheit (11) den Grenzwert (ϕ_{grenz}) der Gierratengröße in Abhängigkeit von Größen, die den Beladungszustand und/oder Geometrieeigenschaften und/oder Karosserieeigenschaften des Fahrzeugs charakterisieren, ermittelt.
5. Vorrichtung nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass die den Beladungszustand des Fahrzeugs charakterisierenden Größen eine Schwerpunktlagengröße (h_{sp}), die die räumliche Lage des Schwerpunkts des Fahrzeugs beschreibt, und/oder eine Massegröße (m_f), die die Masse des Fahrzeugs beschreibt, umfassen.
6. Vorrichtung nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass die die Geometrieeigenschaften des Fahrzeugs charakterisierenden Größen eine Spurbreitengröße (s_f), die die Spurbreite des Fahrzeugs beschreibt, und/oder eine Kipp-

zentrumslagengröße (h_w), die die Lage des Kippzentrums des Fahrzeugs beschreibt, umfassen.

7. Vorrichtung nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Karosserieeigenschaften des Fahrzeugs charakterisierenden Größen eine Kippsteifigkeitsgröße (c_ϕ), die die Kippsteifigkeit der Karosserie des Fahrzeugs beschreibt, umfassen.
8. Vorrichtung nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Auswerteeinheit (11) die Schwerpunktlagengröße (h_{sp}) und/oder die Massegröße (m_f) während und/oder vor Beginn der Fahrt des Fahrzeugs ermittelt.
9. Vorrichtung nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Auswerteeinheit (11) die Schwerpunktlagengröße (h_{sp}) und/oder die Massegröße (m_f) in Abhängigkeit von Größen, die den Bewegungszustand des Fahrzeugs charakterisieren, und/oder in Abhängigkeit des zeitlichen Verhalts wenigstens einer dieser Größen ermittelt.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet,
dass die den Bewegungszustand des Fahrzeugs charakterisierenden Größen eine Wankwinkelgröße, die den Wankwinkel des Fahrzeugs beschreibt, und/oder einer Nickwinkelgröße, die den Nickwinkel des Fahrzeugs beschreibt, umfassen.
11. Vorrichtung nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass in der Auswerteeinheit (11) jeweils ein fest vorgegebener Wert für die Schwerpunktlagengröße (h_{sp}) und/oder die Massegröße (m_f) abgelegt ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Auswerteeinheit (11) den Grenzwert (φ_{grenz}) der Kippwinkelgröße in Abhängigkeit von Größen, die die Querdynamik des Fahrzeugs charakterisieren, ermittelt.
13. Vorrichtung nach Anspruch 12,
dadurch gekennzeichnet,
dass die die Querdynamik des Fahrzeugs charakterisierenden Größen eine Querbeschleunigungsgröße (a_q), die die auf das Fahrzeug wirkende Querbeschleunigung beschreibt, umfassen.
14. Vorrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass es sich bei den Fahrzeugaggregaten (13) um zur Erzeugung eines auf das Fahrzeug wirkenden Vortriebs vorgesehene Antriebsmittel (13a) und/oder um zur Abbremsung von Rädern des Fahrzeugs vorgesehene Bremsmittel (13b) und/oder um zur Beeinflussung der Lenkung des Fahrzeugs vorgesehene Lenkmittel (13c) handelt.
15. Vorrichtung nach Anspruch 14,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Bremsmittel (13b) derart ausgebildet sind, dass sich die Räder des Fahrzeugs jeweils unabhängig voneinander abbremsen lassen.
16. Vorrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Erfassungseinrichtung (10), die Auswerteeinheit (11) und die Steuereinrichtung (12) Bestandteil eines im Fahrzeug vorhandenen Elektronischen Stabilitäts-Programms sind.

17. Vorrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass von der Auswerteeinheit (11) ansteuerbare Fahrerinformationen
mittel (23) zur Ausgabe einer optischen
und/oder akustischen Fahrerinformation vorgesehen sind,
wobei die Auswerteeinheit (11) die Ausgabe der optischen
und/oder akustischen Fahrerinformation in Zusammenhang
mit der Ansteuerung der Fahrzeugaggregate (13) veran-
lasst.
18. Verfahren zur Kippverhinderung für ein Fahrzeug, bei dem
ein Istwert ($\dot{\psi}_{ist}$) einer die Gierrate des Fahrzeugs be-
schreibenden Gierratengröße ermittelt wird, und bei dem
ein Sollwert ($\dot{\psi}_{sol1}$) der Gierratengröße und ein Grenzwert
($\dot{\psi}_{grenz}$) der Gierratengröße ermittelt wird, wobei auf Ba-
sis eines Vergleichs zwischen dem ermittelten Istwert
($\dot{\psi}_{ist}$) der Gierratengröße und dem ermittelten Sollwert
($\dot{\psi}_{sol1}$) der Gierratengröße die Längs- und/oder Querdynamik
des Fahrzeugs derart beeinflusst wird, dass der ermittel-
te Istwert ($\dot{\psi}_{ist}$) der Gierratengröße den ermittelten
Sollwert ($\dot{\psi}_{sol1}$) der Gierratengröße einnimmt, wobei für
den Fall, dass der Sollwert ($\dot{\psi}_{sol1}$) der Gierratengröße den
Grenzwert ($\dot{\psi}_{grenz}$) der Gierratengröße überschreitet, zur
Vermeidung eines Umkippens des Fahrzeugs der ermittelte
Sollwert ($\dot{\psi}_{sol1}$) der Gierratengröße auf den ermittelten
Grenzwert ($\dot{\psi}_{grenz}$) der Gierratengröße begrenzt wird,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Grenzwert ($\dot{\psi}_{grenz}$) der Gierratengröße in Abhän-
gigkeit eines Grenzwerts (φ_{grenz}) einer einen Kippwinkel
des Fahrzeugs beschreibenden Kippwinkelgröße (φ) ermit-
telt wird.

DaimlerChrysler AG

Zusammenfassung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Kippverhinderung für ein Fahrzeug, mit einer Erfassungseinrichtung (10), die einen Istwert ($\dot{\psi}_{ist}$) einer die Gierrate des Fahrzeugs beschreibenden Gierratengröße ermittelt, mit einer Auswerteeinheit (11), die einen Sollwert ($\dot{\psi}_{sol1}$) der Gierratengröße und einen Grenzwert ($\dot{\psi}_{grenz}$) der Gierratengröße ermittelt, und mit einer Steuereinrichtung (12) zur Ansteuerung von Fahrzeugaggregaten (13), die zur Beeinflussung der Längs- und/oder Querdynamik des Fahrzeugs vorgesehen sind. Die Auswerteeinheit (11) steuert hierbei auf Basis eines Vergleichs zwischen dem ermittelten Istwert ($\dot{\psi}_{ist}$) der Gierratengröße und dem ermittelten Sollwert ($\dot{\psi}_{sol1}$) der Gierratengröße die Fahrzeugaggregate (13) derart an, dass der ermittelte Istwert ($\dot{\psi}_{ist}$) der Gierratengröße den ermittelten Sollwert ($\dot{\psi}_{sol1}$) der Gierratengröße einnimmt, wobei für den Fall, dass der Sollwert ($\dot{\psi}_{sol1}$) der Gierratengröße den Grenzwert ($\dot{\psi}_{grenz}$) der Gierratengröße überschreitet, die Auswerteeinheit (11) zur Vermeidung eines Umkippens des Fahrzeugs den ermittelten Sollwert ($\dot{\psi}_{sol1}$) der Gierratengröße auf den ermittelten Grenzwert ($\dot{\psi}_{grenz}$) der Gierratengröße begrenzt. Erfnungsgemäß ermittelt die Auswerteeinheit (11) den Grenzwert ($\dot{\psi}_{grenz}$) der Gierratengröße in Abhängigkeit eines Grenzwerts (ϕ_{grenz}) einer einen Kippwinkel des Fahrzeugs beschreibenden Kippinkelgröße (ϕ).

(Fig. 1)

1/2

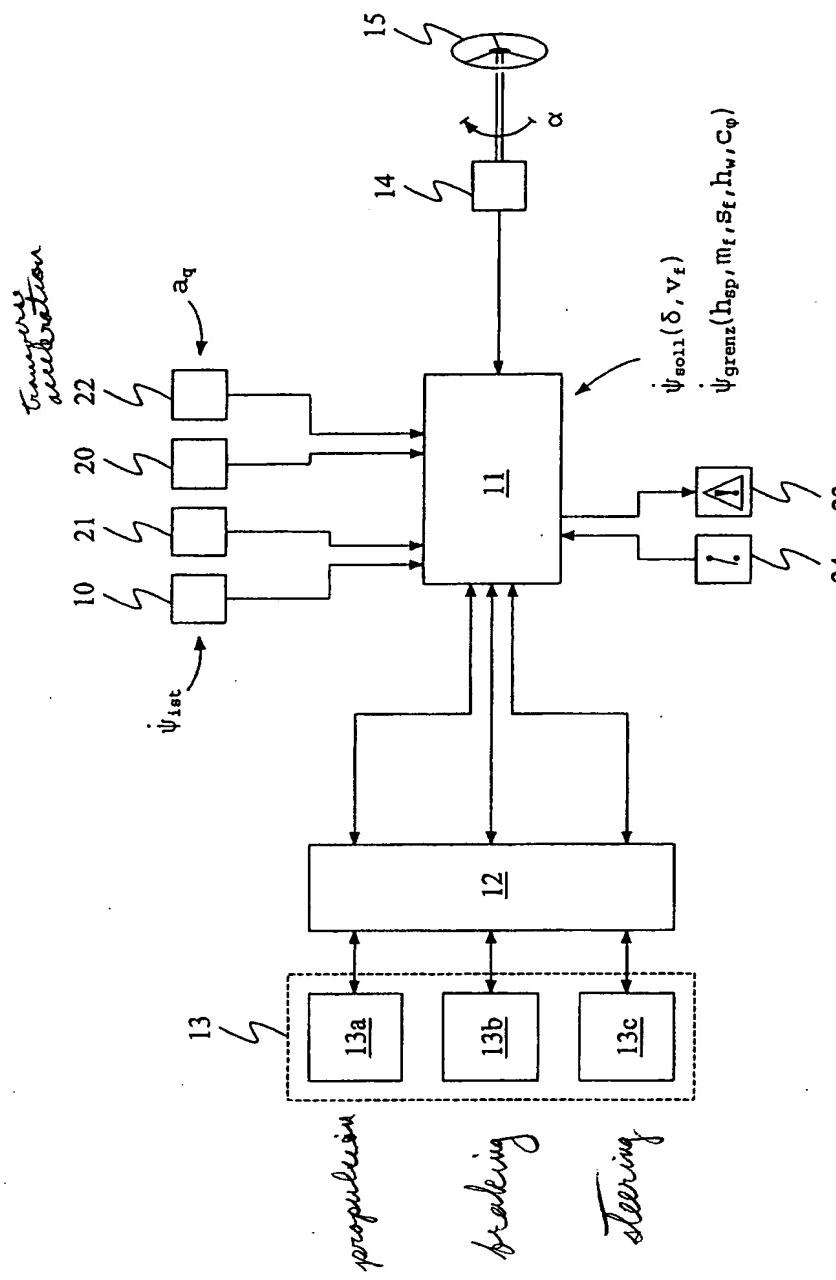


FIG. 1

2/2

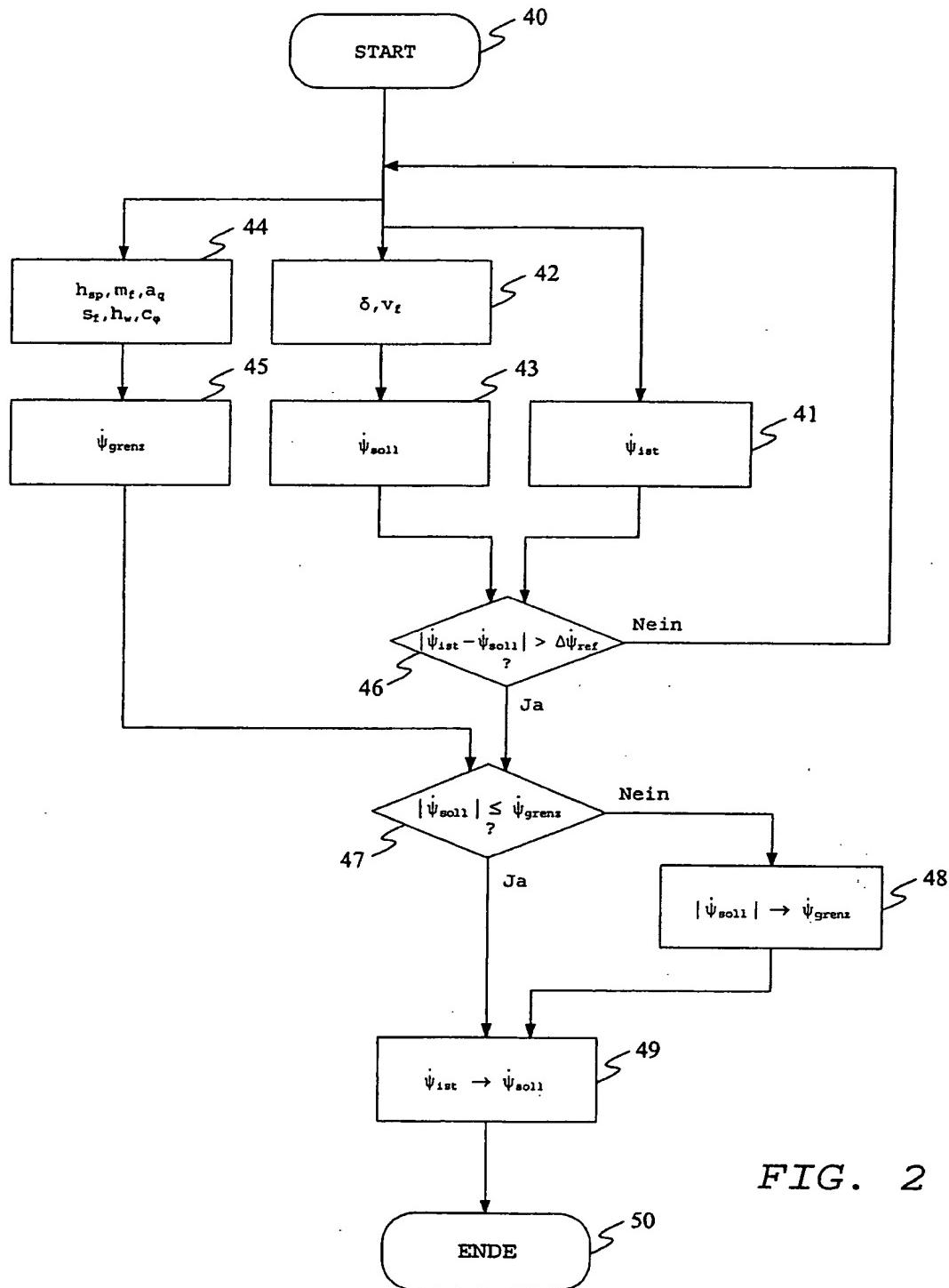


FIG. 2